

CMP设备中抛光盘加工方案

郭忠华

中国电子科技集团公司第四十五研究所 北京 065201

摘要：对CMP设备中抛光盘的使用要求、材料及图样进行分析，制定出工艺流程，在具体工序中，根据零件结构特点及装夹需要，设计出相应的专用工装。工件加工后零件检验合格，工艺方案及工装设计行之有效。

关键词：抛光盘；工艺流程；专用工装

1 序言

CMP化学机械抛光设备是我所承担的国家重大专项，其设备的核心之一是承载抛光功能的抛光台单元，抛光台（见图1）是CMP设备的重要组成部分，关系到抛光质量。抛光台上台面粘贴抛光垫，抛光过程中，抛光台高速旋转，在抛光头压力的作用和抛光液化学作用下实现晶圆的化学机械抛光，从而达到平坦化的效果。抛光台单元的核心零件是由抛光台上盘与下盘组合而成的抛光盘，其中抛光台下盘是上盘的安装基准，下盘也充当轴承内圈的压盖。由于抛光台的运转精度采用P4级的轴承，从而对下盘安装轴承相关尺寸的几何公差也提出了很高的要求。由此可见，抛光台下盘是CMP设备抛光台单元关键核心零件，其加工精度直接影响整个设备的抛光功能与效果。本文就抛光台下盘的加工制造方案进行了详细的分析与阐述，希望为今后类似零件的加工提供参考依据。

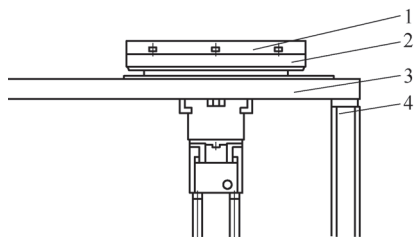


图1 抛光台

1—抛光台上盘 2—抛光台下盘 3—工作台 4—工作台支架

2 抛光台下盘图样分析

抛光台下盘材料采用美铝6061-T651，采用硬质氧化处理，避免抛光液的腐蚀和增加材料的耐磨性，最大直径为508mm，最大厚度70mm，整体结构大体为一盘型类零件（见图2），主要精度指标为A基准面平面度0.006mm、表面粗糙度值Ra要求 $0.8\mu\text{m}$ 及 $\phi 250_{-0.096}^{+0.050}\text{mm}$ 圆柱度要求0.003mm，止口 $\phi 160_{-0}^{+0.040}\text{mm}$ 底部平面对A面的平行度0.008mm，70mm顶部平面对A面的平行度0.008mm。零件加工后进行硬质阳极氧化处理，采用硬质阳极氧化处理是为了避免抛光液的腐蚀和增加材料的耐磨性，个别表面喷涂防腐材料特氟龙。图样中标注的所有尺寸精度及几何公差要求均为表面处理后的要求。

3 工艺流程的制定及难点分析

3.1 工艺流程的制定

零件材料为美铝6061，其是应用最为广泛的铝合金材料，有极为良好的塑性和较高的强度，切削加工性能好，因此毛坯采用75mm厚的铝板，先粗车外圆 $\phi 508\text{mm}$ 、外圆 $\phi 250_{-0.096}^{+0.050}\text{mm}$ ，两处外圆及总厚度均留单面余量1mm；经人工时效处理，加热至 $185\sim 195^{\circ}\text{C}$ 保温12h，以释放粗加工所产生的加工应力；处理后，半精车外圆 $\phi 508\text{mm}$ 、外圆 $\phi 250_{-0.096}^{+0.050}\text{mm}$ ，两处外圆及总厚度均留精车单面余量0.4mm，并加工所有环槽至图样尺寸；经立式加工中心加工所有联接螺孔后，进行第二次人工时效处

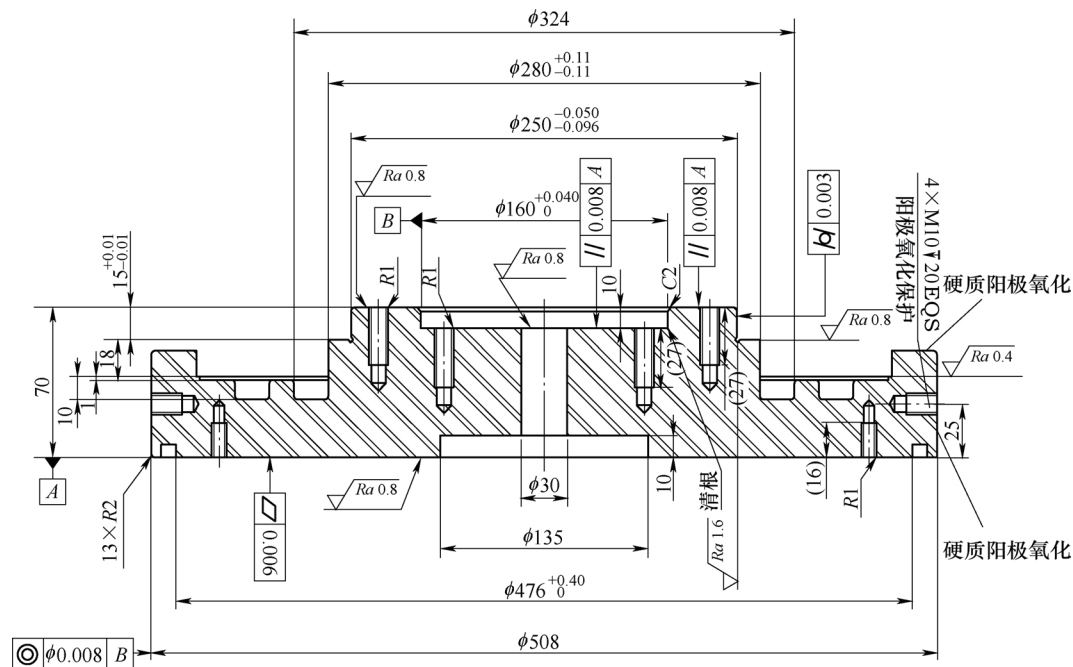


图2 抛光台下盘

理, 加热至185~195℃保温12h, 以释放半精加工所产生的加工应力; 处理后, 精车总厚70mm及密封环槽至图样尺寸, 研磨A基准面至平面度0.006mm, 保证表面粗糙度值 $Ra=0.8\mu\text{m}$; 最后以研磨A基准面做基准, 上花盘, 精车 $\phi 250_{-0.096}^{+0.050}\text{mm}$ 达圆柱度要求0.003mm, 止口 $\phi 160_{+0.040}^{+0.040}\text{mm}$ 底部平面达平行度要求0.008mm。所有尺寸公差均留有硬质阳极氧化处理镀层余量, 工艺流程如图3所示。

3.2 加工难点分析

1) 该件圆柱轴承安装面 $\phi 250_{-0.096}^{+0.050}\text{mm}$ 圆柱度要求0.003mm, 表面粗糙度值仅为 $0.4\mu\text{m}$, 为形状公差3级精度等级。如果精加工采用磨削加工, 由于材料为美铝6061, 属于有色金属, 易堵塞砂轮, 加工较为困难, 表面粗糙度及几何公差都不易达到精度要求, 所以该圆柱轴承安装面只能采用金刚石高速精车方式。另外, 由于先前加工的两道环槽及止口,

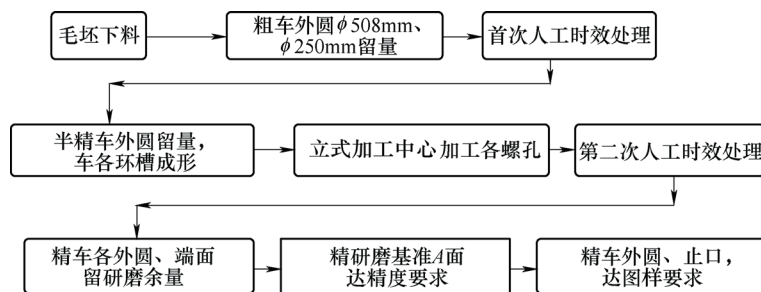


图3 工艺流程

造成普通三爪装夹外圆 $\phi 508\text{mm}$ 加工外圆 $\phi 250_{-0.096}^{+0.050}\text{mm}$ 时极易产生装夹变形且不容易校正, 所以必须先设计工装垫铁, 精密车削基准面A平面度达到0.006mm, 再以A面为基准, 通过花盘装夹, 在工件上钻工艺孔, 才能达到 $\phi 250_{-0.096}^{+0.050}\text{mm}$ 圆柱度要求0.003mm, 止口 $\phi 160_{+0.040}^{+0.040}\text{mm}$ 底部平面对A面的平行

度0.008mm。

2) 由于所有尺寸公差及几何公差均为表面处理后的要求, 而该件表面所有面均要求进行硬质阳极氧化处理。硬质阳极氧化处理后, 个别表面由于要求特殊, 还要进行表面喷涂特氟龙处理, 因此所有尺寸公差必须通过公差带尺寸链换算成表面处理前

的公差带，以使硬质阳极氧化处理后达到图样尺寸公差要求。进行表面喷涂特氟龙处理后，还要进行局部表面研磨，以使相关表面几何公差达到图样要求。

4 加工工艺难点解决方案

4.1 切削工艺参数的确定及相关工装设计

该抛光台下盘材料为美铝6061，该材料具有以下特点：①铝合金材料熔点低，车削时由于温度升高，塑性变大，在高温高压作用下，切削界面摩擦力很大，容易粘刀，所以不容易获得理想的表面粗糙度。②铝合金材质软，刚性差，弹性模量低，易产生切削变形，影响切削加工性能。基于以上两个因素，加工该件时，必须选择合理的最佳刀具切削参数，以保持刀具锋利，并且粗、精加工分开，通过设计工装夹具，减小工件变形。

(1) 切削刀具及切削参数 粗车刀具材料采用高速钢，刀具副后角约 10° ，纵向前角约 35° ，切削速度约为 350m/min ，进给量 $<1\text{mm/r}$ ，切削深度约 5mm 。

精车刀具材料采用硬质合金，刀具副后角约 8° ，纵向前角约 15° ，切削速度约为 600m/min ，进给量 $<0.1\text{mm/r}$ ，切削深度约 0.3mm ，并采用乳液冷却。

(2) 相关工装设计 基准面A的平面度要求为 0.006mm ，是整个零件的设计、装配及工艺基准，其重要性不言而喻。由于粗车时加工的两道环槽及止口，造成普通三爪装夹外圆 $\phi 508\text{mm}$ 加工外圆 $\phi 250_{-0.096}^{+0.050}\text{mm}$ 时极易产生装夹变形且不容易校正，所以必须先设计工装垫铁，通过花盘装夹，减小径向变形来完成，原理如图4所示。

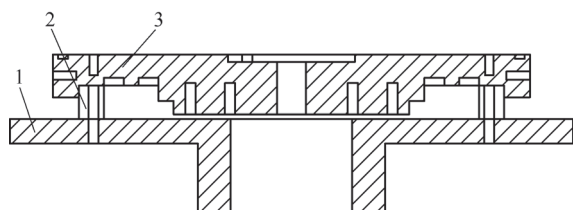


图4 花盘车削A面装置原理

1—车床花盘 2—支撑定位环 3—下盘工件

使用时，先用百分表、圆盘及平尺校正精密车床刀架移动对主轴的垂直度在 0.008mm 以内；然后在主轴上装上通用花盘夹具，将花盘端面精车，保证平面度在 0.008mm 以内；在工件 $\phi 420\text{mm}$ 圆周处做

8处M8均布工艺通孔（见图5），在花盘及支撑定位环 $\phi 420\text{mm}$ 圆周处做8处 $\phi 10\text{mm}$ 通孔；下盘工件与车床花盘通过精磨的两面平行度非常高的支撑定位环联接，通过8个M8螺栓在花盘里侧将工件、支撑定位环及花盘联接在一起，再高速精车A面。该装置有效保证了经车削后，A面达到平面度 0.01mm ，经钳工修研后，达到图样平面度要求的 0.006mm 。

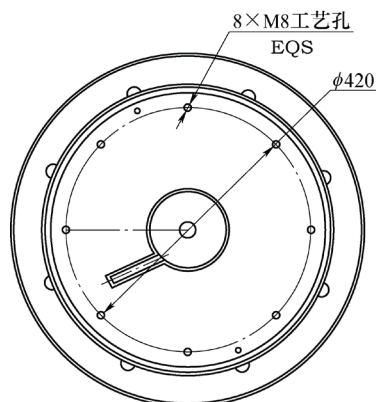


图5 工件工艺孔位置

4.2 硬质阳极氧化处理前尺寸的确定

硬质阳极氧化处理前尺寸的确定涉及尺寸链的换算，这里用图解的方式加以说明。假设镀层厚度在零件表面是均匀分布的，则镀层对零件尺寸产生的影响为镀层渗入一半、凸出一半，通过尺寸链的换算来求得零件尺寸增量，如图6所示。

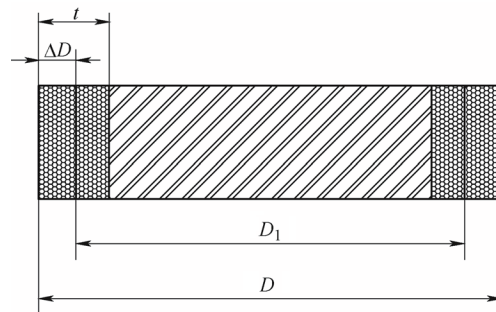


图6 零件镀层示意

图6中， D_1 为镀前轴的直径， D 为镀后轴的直径， t 为镀层厚度， ΔD 为镀后轴的尺寸单边增量，根据图样中几何关系 $\Delta D = (D - D_1) / 2 = (D_1 + t - D_1) / 2 = t / 2$ （半个镀层厚度），则直径方向双边增量为一个镀层厚度。

由于图样要求镀层厚度为 0.03mm ，因此可以推算出外圆 $\phi 250_{-0.096}^{+0.050}\text{mm}$ 的镀前尺寸为 $\phi 250_{-0.12}^{+0.08}\text{mm}$ ，同理，其他镀前尺寸的计算以此类推。

4.3 表面喷涂特氟龙涂层后几何公差的修复

抛光台下盘由于长期工作在腐蚀溶液环境中，所以零件局部外圆表面必须喷涂特氟龙涂层用以防腐蚀。另外，由于喷涂过程是在400~450℃的较高温度环境下进行，势必会对零件已达到的精度几何公差产生影响，所以在抛光台下盘喷涂后，需对所有零件重新进行检测，对因表面喷涂而产生的几何公差超差的零件进行钳工修研，直至达到图样要求。图7所示为修研后的合格零件。



图7 修研后的合格零件

5 结束语

综上所述，在抛光台下盘的工艺设计方案中，作为设计、工艺及安装基准的A基准面及圆柱轴承安装面 $\phi 250_{-0.096}^{+0.050}$ mm的精度要求为整个工艺设计方案中的核心，通过设计最优的刀具切削参数、专用的工装设计、尺寸链换算出关键尺寸的镀前尺寸及喷涂后的修研等一系列方案，零件经检测部门检测后，全部达到图样要求，经客户安装使用，完全达到使用要求。本文对毛坯的选择、工艺路线的制定、难点分析、刀具参数的选择、工装的设计、镀前尺寸的换算等做了简要阐述，其中喷涂特氟龙涂层后的修研还有待进一步改进。希望本文的加工方案对今后类似抛光盘的加工具有一定的借鉴作用。

参考文献：

- [1] 陈家芳，顾霞琴．典型零件机械加工工艺与实例[M]．上海：上海科学技术出版社，2010.
- [2] 孟少农．机械加工工艺手册 第2卷 [M]．北京：机械工业出版社，1991.
- [3] 邢建东．工程材料基础[M]．北京：机械工业出版社，2004.
- [4] 祁瑛．探索硬质阳极化前后高精度尺寸的控制[J]．河南机电高等专科学校学报，2012（2）：10-12.

MW 20210603

中国机床行业的全球影响

机床行业技术水平和产品质量是衡量一个国家装备制造业发展水平的重要标志。同时机床作为通用设备，在整个制造业中有很强的顺周期性，工业企业的利润指标是通用设备行业景气度的领先指标。

中国机床产值居世界第一

从机床供给市场来看，2020年全球机床行业产值为578亿欧元，中国产值位居世界第一位，产值为169.5亿欧元，在全球市场中占据份额为29%。德国、日本产值分别为86.6亿欧元和82.2亿欧元，分别位居全球第二和第三，在全球市场中的份额分别为15%和14%。中国、德国和日本三个国家占据了全球58%的份额。

中国机床消费额占全球近三分之一

从机床需求市场来看，2020年全球机床行业消

费额为573亿欧元，其中中国消费额位居世界第一，消费额为186.1亿欧元，在全球需求市场中占据份额为32%。美国、德国消费额分别为66.7亿欧元和45.1亿欧元，分别位居全球第二和第三，在全球市场中的份额分别为12%和8%，中国、美国和德国三个国家占据了全球52%的份额。

中国逐年减少对进口机床的依赖

根据中国机床工具工业协会和德国机床制造商协会统计显示，中国机床进口额自2011年总体呈下降趋势，进口额自2018年的82亿欧元下降至2020年的52亿欧元。其中中国对进口机床前五的供应国家及地区(占进口总额83%)：日本、德国、中国台湾、瑞士及意大利在2020年的进口比例均有1%~37%的减少。

(来源：中国机械工业联合会统计信息部)